

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2002085369
PUBLICATION DATE : 26-03-02

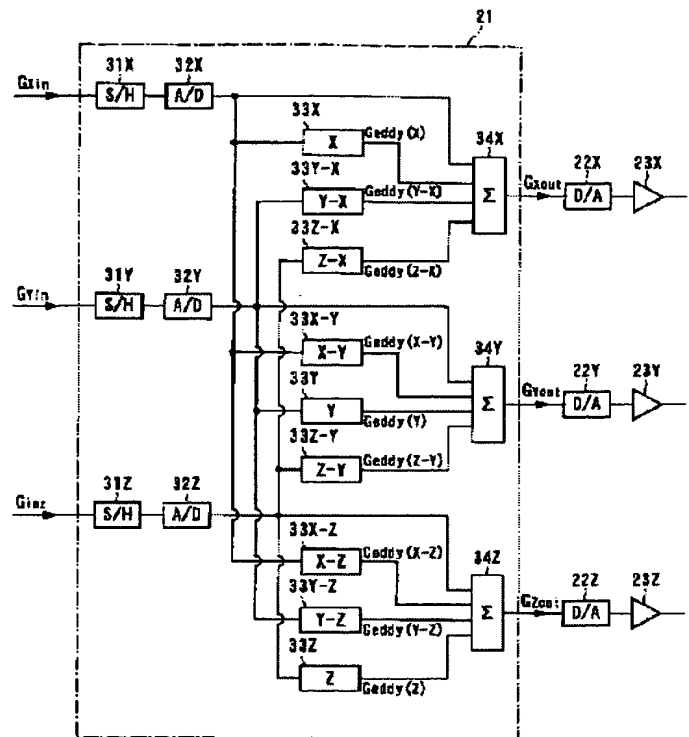
APPLICATION DATE : 13-09-00
APPLICATION NUMBER : 2000277577

APPLICANT : TOSHIBA CORP;

INVENTOR : YAMANAKA MASAOKI;

INT.CL. : A61B 5/055 G01R 33/387

TITLE : EDDY COMPENSATION APPARATUS
AND METHOD FOR MAGNETIC
RESONANCE SYSTEM



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To stably and accurately compensate an eddy magnetic field and to inhibit an increase in the scale of a circuit even if the eddy magnetic field is subjected to so-called cross-term compensation.

SOLUTION: This eddy compensation apparatus for a magnetic resonance imaging system has a means to generate an inclined magnetic field which is superimposed on a static magnetic field. The apparatus includes an eddy compensator 21 for compensating an eddy magnetic field which is generated as a gradient magnetic field is generated, with the compensator 21 being processed with digital signals. More specifically, the compensator 21 includes a sampling circuit 31 and an A/D converter 32 for sampling the controlled waveform data of the inclined magnetic field at regular intervals and digitizing them, a compensating circuit 33 for computing eddy compensation data based on the digital data and according to a time constant and gains, and an adder 34 which adds the eddy compensation data to the controlled waveform data.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-85369

(P2002-85369A)

(43) 公開日 平成14年3月26日 (2002.3.26)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テ-7コ-ト* (参考)

A 6 1 B 5/055

A 6 1 B 5/05

3 4 2

4 C 0 9 6

G 0 1 R 33/387

G 0 1 N 24/06

5 2 0 Y

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2000-277577 (P2000-277577)

(22) 出願日 平成12年9月13日 (2000.9.13)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72) 発明者 葛西 由守

栃木県大田原市下石上1385番の1 株式会
社東芝那須工場内

(72) 発明者 山中 正昭

栃木県大田原市下石上1385番の1 株式会
社東芝那須工場内

(74) 代理人 100078765

弁理士 波多野 久 (外1名)

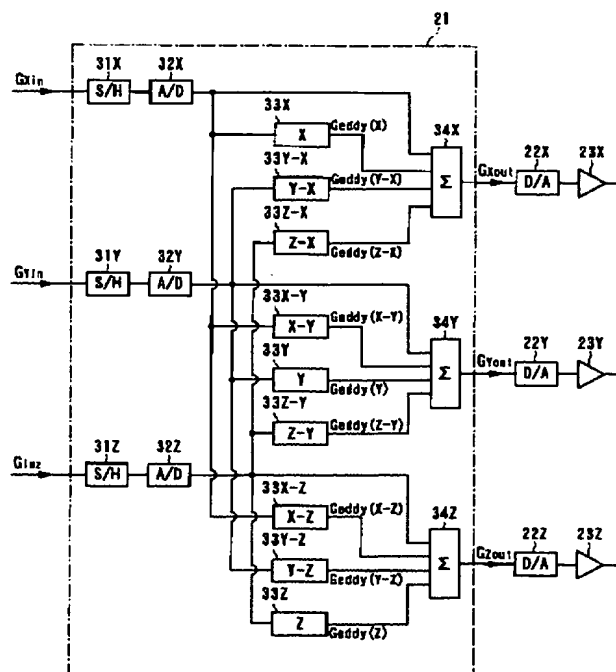
Fターム(参考) 4C096 AA01 AB06 AB33 AD09 CB10
CB17

(54) 【発明の名称】 磁気共鳴システムの渦補償装置及び渦補償方法

(57) 【要約】

【課題】 渦磁場補償を安定に且つ精度良く行うとともに、渦磁場の所謂、クロスターム補償を行う場合であっても、回路規模の増大化を抑制する。

【解決手段】 静磁場に重畳させる傾斜磁場を発生させる手段を有する磁気共鳴イメージング装置の渦補償装置である。この装置は、傾斜磁場の発生に伴って発生する渦磁場を補償する渦補償器21を備え、この補償器21をデジタル信号で処理するように構成している。補償器21は具体的には、傾斜磁場の制御波形データを一定間隔でサンプリングしてデジタル化するサンプリング回路31及びA/D変換器32と、このデジタルデータに基づいて時定数とゲインとにより渦補償データを演算する補償回路33と、この渦補償データを制御波形データに加算する加算器34とを備える。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 静磁場に重畳させる傾斜磁場を発生させる傾斜磁場発生手段を有する磁気共鳴システムの渦補償装置において、前記傾斜磁場の発生に伴って発生する渦磁場を補償する渦磁場補償手段を備え、この渦磁場補償手段をデジタル信号で処理するように構成したことを特徴とする磁気共鳴システムの渦補償装置。

【請求項2】 請求項1記載の磁気共鳴システムの渦補償装置において、前記渦磁場補償手段は、前記傾斜磁場の制御波形データを一定間隔でサンプリングしてデジタル化するデジタル化手段と、このデジタルデータに基いて時定数とゲインとにより渦補償データを演算する演算手段と、この渦補償データを前記制御波形データに加算する加算手段とを備えた磁気共鳴システムの渦補償装置。

【請求項3】 請求項1記載の磁気共鳴システムの渦補償装置において、前記渦磁場補償手段は、前記傾斜磁場の制御波形データを一定間隔でサンプリングしてデジタル化されたデジタルデータに基いて時定数とゲインとにより渦補償データを演算する演算手段と、この渦補償データを前記制御波形データに加算する加算手段とを備えた磁気共鳴システムの渦補償装置。

【請求項4】 請求項2又は3記載の磁気共鳴システムの渦補償装置において、前記演算手段は前記時定数の指数減衰波形を生成するデジタルタイプの積分器を有する磁気共鳴システムの渦補償装置。

【請求項5】 請求項2又は3記載の磁気共鳴システムの渦補償装置において、前記演算手段は前記時定数としての複数の異なる時定数それぞれについて指数減衰波形を生成するデジタルタイプの複数の積分器を有する磁気共鳴システムの渦補償装置。

【請求項6】 請求項2又は3記載の磁気共鳴システムの渦補償装置において、前記傾斜磁場発生手段は複数チャンネルの傾斜磁場発生手段から成り、前記演算手段は、自己チャンネルに対する前記渦補償データを演算する自己チャンネル演算手段と、他チャンネルに対する前記渦補償データを演算する他チャンネル演算手段とを有する磁気共鳴システムの渦補償装置。

【請求項7】 請求項2又は3記載の磁気共鳴システムの渦補償装置において、前記自己チャンネル演算手段及び前記他チャンネル演算手段は、夫々、前記時定数としての複数の異なる時定数それぞれについて指数減衰波形を生成するデジタルタイプの複数の積分器を有する磁気共鳴システムの渦補償装置。

【請求項8】 請求項4、5、又は7に記載の磁気共鳴システムの渦補償装置において、前記積分器は、 $4\mu s$ のクロック周期で少なくとも10秒間分の積分演算を連続的に行うように構成されている磁気共鳴システムの渦補償装置。

【請求項9】 請求項4、5、又は7に記載の磁気共鳴システムの渦補償装置において、前記積分器は、前記指数減衰波形の生成を、クロック毎に、1クロック前の積分データに前記時定数を掛ける掛け算に置換して行う演算器である磁気共鳴システムの渦補償装置。

【請求項10】 請求項4、5、7、8、又は9に記載の磁気共鳴システムの渦補償装置において、前記積分器は前記制御波形データに対して8ビット以上の冗長性を持たせた積分器である磁気共鳴システムの渦補償装置。

【請求項11】 請求項1記載の磁気共鳴システムの渦補償装置において、前記渦磁場を補償するための所定の時定数及びゲインの元で前記渦磁場の時定数と強度の測定を指令する測定指令手段と、この測定結果から前記渦磁場が許容値に収束したか否かを判断する判断手段と、この判断の結果が未収束であるときには、前記時定数及び／又はゲインを修正して前記測定を再度実行させる再測定指令手段とを備え、

前記渦磁場補償手段は、前記測定に使用する傾斜磁場の制御波形データを一定間隔でサンプリングしてデジタル化するデジタル化手段と、このデジタルデータに基いて前記測定に指名された時定数とゲインとにより渦補償データを演算する演算手段と、この渦補償データを前記制御波形データに加算する加算手段とを備えた磁気共鳴システムの渦補償装置。

【請求項12】 請求項1乃至11の何れか一項記載の磁気共鳴システムの渦補償装置において、前記渦磁場は1次の渦磁場成分である磁気共鳴システムの渦補償装置。

【請求項13】 静磁場に重畳する傾斜磁場を発生させるようにした磁気共鳴システムの渦補償方法において、前記傾斜磁場の制御波形データを一定間隔でサンプリングしてデジタル化し、このデジタルデータに基いて時定数とゲインとにより渦補償データし、この渦補償データを前記制御波形データに加算して前記傾斜磁場発生用の指令信号を形成することを特徴とした磁気共鳴システムの渦補償方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気共鳴現象に基づいて画像化やスペクトル分析を行う磁気共鳴システムにおいて、傾斜磁場パルスにより誘導される渦電流に因る磁場変動（傾斜磁場波形の歪み）を補償（補正）する

渦補償装置及び渦補償方法に関する。

【0002】

【従来の技術】磁気共鳴イメージング(MRI)装置は、今や医療現場において必須のモダリティとして多用されている。

【0003】この装置により実行される磁気共鳴イメージングは、静磁場中に置かれた被検体の原子核スピンをそのラーモア周波数の高周波信号で磁氣的に励起し、この励起に伴って発生するエコー信号などのMR信号から画像を再構成する撮像法である。この磁気共鳴イメージングは、人体の解剖学的な断面図を非侵襲的に得る手法として極めて有効である。とくに、骨に覆われた脳などの中枢神経系の診断法として広く活用されている。

【0004】その一方で、磁気共鳴イメージングには渦電流に因る問題が付きまとう。磁気共鳴イメージングを行うときに必要な傾斜磁場は、傾斜磁場コイル及び傾斜磁場電源(アンプ)によりパルス状磁場として発生されることから、傾斜磁場コイルの周辺に電気導体(例えば静磁場磁石の熱シールド体など)が存在すると、傾斜磁場パルスの立ち上がり時及び立下り時にその導体に渦電流が発生し、この渦電流は、いわゆる渦磁場と呼ばれる変動する磁場を発生させる。この渦磁場が発生すると、傾斜磁場はシーケンサで指令した制御値通りの波形にはならず、歪んでしまう。傾斜磁場波形が歪むと、位相エンコード方向に画像が流れたり、画像にアーチファクトが発生したり、分解能が低下するなど、画質を劣化させてしまう。

【0005】この渦磁場(即ち渦電流)には、その物理的な性質から、空間的に零次及び1次の成分を初めとして、2次以上の高次の成分も含まれる。なお、零次の成分とは、空間分布を持たずに、あたかも中心周波数が時間変動したように振舞う渦磁場成分を言う。渦磁場の強度や時定数は、次数にも拠るが、通常、複数の成分が合成されて成る。時定数は典型的には数msecから数secまで広い範囲にわたっている。

【0006】この渦磁場の影響を最小限に抑えて画質を向上させることは磁気共鳴イメージングでは重要な課題の一つであるため、パルスシーケンスに拠る改善、渦電流補償回路、シールド付き傾斜磁場コイル、コイル設計など、渦磁場の次数や性質に合せて各種の対策が施されている。

【0007】このうち、1次の渦磁場成分は、傾斜磁場波形を制御することで抑え込めることが知られている。このため、可変時定数の積分器と可変ゲインのアンプとを有するアナログ回路を複数設けた渦補償回路を傾斜磁場アンプ内に備える。この渦補償回路に、制御値に対応した傾斜磁場制御波形を入力させ、この波形を使って各時定数と各ゲインとに拠る指数減衰波形を形成させる。この複数の指数減衰波形は傾斜磁場制御波形に重畳され、この結果、傾斜磁場制御波形の立ち上がり及び立下

りの部分に指数減衰波形で成る渦磁場を補償する波形成分が重畳される。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した渦補償回路はアナログ回路で構成されているため、積分器を形成する回路素子の温度に拠る変化やばらつきが大きいと言う問題がある。また、磁気共鳴イメージング装置の据え付け時には渦補償のための時定数やゲインを調整する必定があるが、この手動調整に手間が掛かるという問題もあった。

【0009】さらに、傾斜磁場のチャンネル相互間で発生する渦磁場を補償する、いわゆるクロスターム補償を行う場合、回路構成が特に著しく複雑化するという問題もあった。

【0010】さらにまた、従来の渦補償回路は、短い時定数の渦磁場に焦点を当てた構成であったため、傾斜磁場制御波形の立ち上がり及び立下り部分は何とか補償できた。しかし、より高画質のMR画像を得ようとする、これでは不十分で、長い時定数の渦成分も補償する必要がある。従来のアナログ回路による渦補償の場合、時定数が長くなると、経時変化などに因って渦補償の精度がそれだけ低下していた。

【0011】本発明は、このような従来技術が有する問題を改善するためになされたもので、渦磁場補償を安定に且つ精度良く行うことを、第1の目的とする。

【0012】また、渦磁場補償を安定に且つ精度良く行うとともに、渦磁場の所謂、クロスターム補償を行う場合であっても、回路規模の増大化を抑制することを、第2の目的とする。

【0013】さらに、渦補償の時定数やゲインを調整するときに、その調整を自動的に行って調整の手間を軽減させることを、第3の目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明に係る磁気共鳴システムの渦補償装置は、静磁場に重畳させる傾斜磁場を発生させる傾斜磁場発生手段を有し、前記傾斜磁場の発生に伴って発生する渦磁場を補償する渦磁場補償手段を備え、この渦磁場補償手段をデジタル信号で処理するように構成したことを特徴とする。

【0015】好適な一例によれば、前記渦磁場補償手段は、前記傾斜磁場の制御波形データを一定間隔でサンプリングしてデジタル化するデジタル化手段と、このデジタルデータに基いて時定数とゲインとにより渦補償データを演算する演算手段と、この渦補償データを前記制御波形データに加算する加算手段とを備える。

【0016】また別の好適な一例によれば、前記渦磁場補償手段は、前記傾斜磁場の制御波形データを一定間隔でサンプリングしてデジタル化されたデジタルデータに基いて時定数とゲインとにより渦補償データを演算する

演算手段と、この渦補償データを前記制御波形データに加算する加算手段とを備える。

【0017】例えば、前記演算手段は前記時定数の指数減衰波形を生成するデジタルタイプの積分器を有する。また、前記演算手段は前記時定数としての複数の異なる時定数それぞれについて指数減衰波形を生成するデジタルタイプの複数の積分器を有することができる。

【0018】さらに、前記傾斜磁場発生手段は複数チャンネルの傾斜磁場発生手段から成り、前記演算手段は、自己チャンネルに対する前記渦補償データを演算する自己チャンネル演算手段と、他チャンネルに対する前記渦補償データを演算する他チャンネル演算手段とを有することができる。前記自己チャンネル演算手段及び前記他チャンネル演算手段は、夫々、前記時定数としての複数の異なる時定数それぞれについて指数減衰波形を生成するデジタルタイプの複数の積分器を有していてもよい。

【0019】また好適には、前記積分器は、 $4\mu s$ のクロック周期で少なくとも10秒間分の積分演算を連続的に行うように構成される。前記積分器は、前記指数減衰波形の生成を、クロック毎に、1クロック前の積分データに前記時定数を掛ける掛け算に置換して行う演算器であることが望ましい。また、別の例として、前記積分器は前記制御波形データに対して8ビット以上の冗長性を持たせた積分器であることが望ましい。

【0020】さらに好適な一例によれば、前記渦磁場を補償するための所定の時定数及びゲインの元で前記渦磁場の時定数と強度の測定を指令する測定指令手段と、この測定結果から前記渦磁場が許容値に収束したか否かを判断する判断手段と、この判断の結果が未収束であるときには、前記時定数及び／又はゲインを修正して前記測定を再度実行させる再測定指令手段とを備え、前記渦磁場補償手段は、前記測定に使用する傾斜磁場の制御波形データを一定間隔でサンプリングしてデジタル化するデジタル化手段と、このデジタルデータに基いて前記測定に指名された時定数とゲインとにより渦補償データを演算する演算手段と、この渦補償データを前記制御波形データに加算する加算手段とを備えることである。

【0021】上述した各構成において、例えば、前記渦磁場は1次の渦磁場成分である。

【0022】また、本発明に係る磁気共鳴システムの渦補償方法は、静磁場に重畳する傾斜磁場を発生させる磁気共鳴システムに適用され、前記傾斜磁場の制御波形データを一定間隔でサンプリングしてデジタル化し、このデジタルデータに基いて時定数とゲインとにより渦補償データし、この渦補償データを前記制御波形データに加算して前記傾斜磁場発生用の指令信号を形成することを特徴とする。

【0023】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係る1つの実施の形態を、図1～図5参照して説明する。なお、この実施

形態では、本発明に係る磁気共鳴システムとして実施した磁気共鳴イメージング(MRI)装置を説明するが、磁気共鳴スペクトロスコピー(MRS)装置や磁気共鳴スペクトロスコピック・イメージング(MRSI)装置に実施することもできる。

【0024】この実施形態に係る磁気共鳴イメージング装置の概略構成を図1に示す。この磁気共鳴イメージング装置は、機能的に、被検体としての患者Pを載せる寝台部と、静磁場を発生させる静磁場発生部と、静磁場に位置情報を付加するための傾斜磁場発生部と、高周波信号を送受信する送受信部と、システム全体のコントロール及び画像再構成を担う制御・演算部と、被検体Pの心時相を表す信号としてのECG信号を計測する心電計測部と、患者Pに息止めを指令するための息止め指令部とを備えている。

【0025】静磁場発生部は、例えば超電導方式の磁石1と、この磁石1に電流を供給する静磁場電源2とを備え、被検体Pが遊挿される円筒状の開口部(診断用空間)の軸方向(Z軸方向)に静磁場 H_0 を発生させる。この磁石部にはシムコイル14が設けられている。このシムコイル14には、後述するホスト計算機の制御下で、シムコイル電源15から静磁場均一化のための電流が供給される。寝台部は、被検体Pを載せた天板を磁石1の開口部に退避可能に挿入できる。

【0026】傾斜磁場発生部は、磁石1に組み込まれた傾斜磁場コイルユニット3を備える一方で、このユニット3に接続される傾斜磁場電源4を備える。

【0027】この傾斜磁場コイルユニット3は、互いに直交するX、Y及びZ軸方向の傾斜磁場を発生させるための3組(種類)のx、y、zコイル3x～3zを備える。傾斜磁場電源4は、後述するシーケンサ5の制御のもとで、x、y、zコイル3x～3zに傾斜磁場を発生させるためのパルス電流を供給する。

【0028】このパルス電流の波形は、後述する如く、本発明に拠る渦補償を受けて形成されるもので、所望の制御値に対応した波形面積を有する制御波形に、本発明に拠る渦補償成分が重畳されている。

【0029】傾斜磁場電源4からx、y、zコイル3x～3zに供給されるパルス電流を制御することにより、物理軸である3軸X、Y、Z方向の傾斜磁場を合成して、互いに直交するスライス方向傾斜磁場 G_S 、位相エンコード方向傾斜磁場 G_E 、および読出し方向(周波数エンコード方向)傾斜磁場 G_R の各論理軸方向を任意に設定・変更することができる。スライス方向、位相エンコード方向、および読出し方向の各傾斜磁場は、静磁場 H_0 に重畳される。

【0030】送受信部は、磁石1内の撮像空間にて被検体Pの近傍に配設されるRFコイル7と、このコイル7に接続された送信器8T及び受信器8Rとを備える。この送信器8T及び受信器8Rは、後述するシーケンサ5

の制御のもとで動作する。送信器8Tは、核磁気共鳴(NMR)を起こさせるためのラーモア周波数のRF電流パルスをRFコイル7に供給する。受信器8Rは、RFコイル7が受信したエコー信号などのMR信号(高周波信号)を取り込み、これに前置増幅、中間周波変換、位相検波、低周波増幅、フィルタリングなどの各種の信号処理を施した後、A/D変換してMR信号に応じたデジタル量のエコーデータ(生データ)を生成する。

【0031】さらに、制御・演算部は、シーケンサ(シーケンスクントローラとも呼ばれる)5、ホスト計算機6、演算ユニット10、記憶ユニット11、表示器12、及び入力器13を備える。

【0032】この内、ホスト計算機6は、記憶したソフトウェア手順により、装置全体の動作を統括する一方、シーケンサ5にパルスシーケンス情報を指令してスキャンを実行させ、且つ演算ユニット10に画像再構成のためのタイミングなどの必要情報を指令する。パルスシーケンスとしては、2次元又は3次元スキャンに拠る、FE(グラジエントエコー)法、FDE(高速FE)法、SE(スピネエコー)法、FSE(高速SE)法、FASE(高速Asymmetric SE:すなわち、高速SE法にハーフフーリエ法を組み合わせたイメージング法)法、EPI(エコーブランチイメージング)法などに拠るパルス列が用いられる。

【0033】シーケンサ5は、CPUおよびメモリを備えており、ホスト計算機6から送られてきたパルスシーケンス情報を記憶し、この情報にしたがって傾斜磁場電源4、送信器8T、受信器8Rの動作を制御するとともに、受信器8Rが出力したMR信号のエコーデータ(デジタル量)を一旦入力し、これを演算ユニット10に転送するように構成されている。ここで、パルスシーケンス情報とは、一連のパルスシーケンスにしたがって傾斜磁場電源4、送信器8Tおよび受信器8Rを動作させるために必要な全ての情報であり、例えばx、y、zコイル3x~3zに印加するパルス電流の強度、印加時間、印加タイミングなどに関する情報を含む。

【0034】また、演算ユニット10は、受信器8Rが出力したエコーデータ(生データ)を、シーケンサ5を通して入力し、その内部メモリ上の2次元又は3次元のk空間(フーリエ空間又は周波数空間とも呼ばれる)にエコーデータを配置し、このエコーデータをその各組毎に2次元又は3次元フーリエ変換に付して実空間の画像データに再構成する。演算ユニット10はまた、必要に応じて、画像に関するデータの合成処理、差分演算処理などを行うことができる。

【0035】記憶ユニット11は、再構成された画像データのみならず、上述の合成処理や差分処理が施された画像データを保管することができる。表示器12は、再構成画像を表示する。また入力器13を介して、オペレータが希望する撮像条件(撮像パラメータ)、パルスシ

ーケンス、画像合成や差分演算に関する情報をホスト計算機6に入力できる。このため、入力器13及び表示器12によりユーザーインタフェースが形成されている。

【0036】一方、息止め法のスキャンが必要なときの息止め指令部の一要素として音声発生器16を備える。この音声発生器16は、ホスト計算機6から指令があったときに、息止め開始および息止め終了のメッセージを音声として発することができる。

【0037】さらに、心電計測部は、被検体の体表に付着させてECG信号を電気信号として検出するECGセンサ17と、このセンサ信号にデジタル化処理を含む各種の処理を施してホスト計算機6およびシーケンサ5に出力するECGユニット18とを備える。この心電計測部による計測信号は、心電同期法によるスキャンを実行するときにシーケンサ5又はホスト計算機6により用いられる。これにより、心電同期法に拠る同期タイミングを適切に設定できる。

【0038】次に、本発明に係る傾斜磁場に因る渦磁場に対する補償を行う機能を備えた傾斜磁場電源4を、その動作と共に更に詳述する。ここで補償する渦磁場は空間的に1次の渦磁場であるとする。

【0039】この傾斜磁場電源4は、図1に示す如く、シーケンサ5から出力されたX、Y、Zチャンネルの傾斜磁場の制御波形(パルスシーケンス情報に基く傾斜磁場パルスの波形)を受けて、この制御波形に渦補償を施す渦補償器21と、この渦補償器21の出力側に設けた各チャンネル毎のD/A変換器22X~22Zと、この変換器の出力側に設けた各チャンネル毎の傾斜磁場アンプ23X~23Zとを備える。

【0040】なお、渦補償器21及びD/A変換器22X~22Zは傾斜磁場電源4から分離独立させて、1つのユニットとして、傾斜磁場電源4及びシーケンサ5間に介在させてもよいし、シーケンサ5内に採り込んで構成してもよい。

【0041】渦補償器21は、図2に示す如く、渦補償をCPUを搭載したプロセッサを含むデジタル回路で、しかも、所謂、クロスターム補償を行い得るように構成されている。

【0042】詳しくは、傾斜磁場のXチャンネルの制御波形 G_{Xin} 、Yチャンネルの制御波形 G_{Yin} 、及びZチャンネルの制御波形 G_{Zin} をそれぞれ入力してサンプリングするサンプリング回路31X、31Y、31Zと、このサンプリング回路それぞれの出力側に置いたA/D変換器32X、32Y、32Zとを備える。

【0043】Xチャンネル側のA/D変換器32xは更に、自己のXチャンネルの渦補償回路33x及び他チャンネルであるYチャンネル及びZチャンネルに対する渦補償回路33x-y及び33x-zに夫々接続されている。同様に、Yチャンネル側のA/D変換器32yは更に、自己のYチャンネルの渦補償回路33y及び他チャ

ンネルであるXチャンネル及びZチャンネルに対する渦補償回路33_{y-x}及び33_{y-z}に夫々接続されている。更に同様に、Zチャンネル側のA/D変換器32_zは更に、自己のZチャンネルの渦補償回路33_z及び他チャンネルであるXチャンネル及びYチャンネルに対する渦補償回路33_{z-x}及び33_{z-y}に夫々接続されている。

【0044】上述した9個の渦補償回路33_x～33_y、33_{x-y}、33_{x-z}、33_{y-x}、33_{y-z}、33_{z-x}、33_{z-y}の夫々は、図3に示す如く、プロセッサ及びレジスタを用いて構成された5個の渦補償用の積分器331A～331E、及び、デジタル回路で構成され且つこれらの積分器の出力信号を相互に加算する1個の加算器332とを備えている。

【0045】5個の積分器331A～331Eには夫々、時定数 τ ($\tau 1 \sim \tau 5$)とゲイン g ($g 1 \sim g 5$)とが独立して設定される。時定数 $\tau 1 \sim \tau 5$ とゲイン $g 1 \sim g 5$ は渦磁場の減衰状態に応じて設定されるもので、精度良く渦補償するためには、時定数及びゲインの単一の組よりも、このように独立に設定可能な複数種の組を設定できることが望ましい。なお、ゲイン g はある時定数を持つ減衰成分の制御波形高さに対する寄与率として認識される量である。

【0046】このため、各積分器331 (331A～331E)は、与えられた時定数 τ ($\tau 1 \sim \tau 5$)及びゲイン g ($g 1 \sim g 5$)を用いて、「制御入力 $\times \tau^n \times g$ 」の演算を行って、渦補償分としての指数減衰波形成分を求める。ここで、 n ：毎秒の演算回数、 s ：渦補償分を演算させる継続時間である。一例として、演算のクロック周期 $=4 \mu s$ のときには、 $n=250,000$ 回となり、そのときの継続時間 s は例えば $s=3$ 秒に設定される。

【0047】但し、各積分器331はクロック毎に上述の演算を行う代わりに、この演算と等価な掛け算を行う。つまり、最初のクロック1で、「制御入力 $\times \tau \times g$ ($=M1$)」を、次のクロック2で、「 $M1 \times \tau$ ($=M2$)」を、次のクロック3で、「 $M2 \times \tau$ ($=M3$)」を、次のクロック4で、「 $M3 \times \tau$ ($=M4$)」を、…といった具合に、前のクロックで演算した値をレジスタに記憶させておきながら、次のクロックではこの値に時定数 τ を掛けるだけの掛け算を「 $n \cdot s$ 」回繰り返す。これにより、制御入力矩形波のときに基本的に指数減衰関数で表される補正量をより簡単に、高速に、且つ連続して求めることができる。

【0048】本実施形態では、空間的に1次の渦磁場に対して、その長い時定数の渦磁場成分を含めて補償することを目的としているため、上述の渦補償分の演算を最低でも3秒、好ましくは10秒程度、連続的に行うことが望ましい。このため、各積分器331を固定小数点方式のプロセッサで構成する場合、時定数 τ については、

前回クロック時のデータを残しておきながら3秒間連続して演算するには、クロック周期 $=4 \mu s$ (25万回/秒)として、各積分器331には全体で26ビット (18ビット+誤差分(冗長分)8ビット)のビット長が設定される。これを10秒間連続して演算するには、各積分器331には全体で28ビットのビット長が設定される。これにより、長い時定数の渦磁場成分の補償に対する十分なビット数、すなわち計算精度が確保される。

【0049】なお、各積分器331は、ソフトウェアが必要になるが、浮動小数点方式のプロセッサで構成することもできる。その場合、回路規模の抑制の点では固定小数点方式の場合よりも有利である。

【0050】一方、各積分器331におけるゲイン g は、ハード面とも密接に絡む量であり、コイルの巻き方などによって変わる。一般的には、制御波形高さに対して3%程度に収まるので、14ビット程度が割り当てられる。

【0051】この結果、各渦補償回路33では、5個の積分器331A～331Eによって、与えられた時定数 τ ($\tau 1 \sim \tau 5$)及びゲイン g ($g 1 \sim g 5$)に応じた指数減衰波形で表される渦補償成分CP1～CP5が演算される。この渦補償成分CP1～CP5は加算器332により相互に加算されて、1つの渦補償成分 G_{eddy} ($G_{eddy}(x)$ 、 $G_{eddy}(y)$ 、 $G_{eddy}(z)$ 、 $G_{eddy}(x-y)$ 、 $G_{eddy}(x-z)$ 、 $G_{eddy}(y-x)$ 、 $G_{eddy}(y-z)$ 、 $G_{eddy}(z-x)$ 、 $G_{eddy}(z-y)$)に合成される。この結果、自チャンネルの渦補償回路33_x、33_y、33_zからは、傾斜磁場制御波形に拠って自チャンネルに発生する渦磁場の影響を補償する(相殺する)ための渦補償成分の指令値が生成される。一方、クロスアームチャンネルの補償回路33_{G_{x-y}}、33_{G_{x-z}}、33_{G_{y-x}}、33_{G_{y-z}}、33_{G_{z-x}}、33_{G_{z-y}}からは、自チャンネルの傾斜磁場制御波形によって他チャンネルに発生する渦磁場の影響を補償するための渦補償成分の指令値が生成される。

【0052】図2に示す渦補償器21に戻ると、同図に示す如く、その出力側に3個のデジタルタイプの加算器34X～34Zが設けられている。

【0053】この内、1つ目の加算器34XにはA/D変換器32X及び3個の渦補償回路33_x、33_{y-x}、33_{z-x}の出力信号が入力し、この4入力加算されて信号 $G_{x_{out}}$ が生成される。この信号 $G_{x_{out}}$ はXチャンネルの傾斜磁場の渦補償された制御波形信号として、その後段のD/A変換器22Xでアナログ信号に戻され、次いで傾斜磁場アンプ23Xに出力される。この結果、所定のパルスシーケンスに基づき且つ自チャンネルの渦磁場及び他チャンネルからの渦磁場に対して渦補償された傾斜磁場パルス電流が傾斜磁場ア

ンプ23Xからxコイル3x、3xに印加される。

【0054】同様に、2つ目の加算器34YにはA/D変換器32Y及び3個の渦補償回路33x-y、33y、33z-yの出力信号が入力し、この4入力加算されて信号 $G_{y \text{ 補償}}$ が生成される。この信号 $G_{y \text{ 補償}}$ はYチャンネルの傾斜磁場の渦補償された制御波形信号として、その後段のD/A変換器22Yでアナログ信号に戻され、次いで傾斜磁場アンプ23Yに出力される。この結果、所定のパルスシーケンスに基づき且つ自チャンネルの渦磁場及び他チャンネルからの渦磁場に対して渦補償された傾斜磁場パルス電流が傾斜磁場アンプ23Yからxコイル3y、3yに印加される。

【0055】さらに同様に、3つ目の加算器34ZにはA/D変換器32Z及び3個の渦補償回路33x-z、33y-z、33zの出力信号が入力し、この4入力加算されて信号 $G_{z \text{ 補償}}$ が生成される。この信号 $G_{z \text{ 補償}}$ はZチャンネルの傾斜磁場の渦補償された制御波形信号として、その後段のD/A変換器22Zでアナログ信号に戻され、次いで傾斜磁場アンプ23Zに出力される。この結果、所定のパルスシーケンスに基づき且つ自チャンネルの渦磁場及び他チャンネルからの渦磁場に対して渦補償された傾斜磁場パルス電流が傾斜磁場アンプ23Zからzコイル3z、3zに印加される。

【0056】この結果、X、Y、Zチャンネルの傾斜磁場コイル3x～3zから発生する傾斜磁場パルスに拠る空間的な1次の渦磁場が、上述した渦磁場補償成分の印加により、極めて有効に抑制される。従って、収集されるMR信号に含まれる1次の渦磁場の影響も極めて少なくなり、画質が著しく改善される。

【0057】本実施形態によれば、上述のように空間的に1次の渦磁場に対して渦補償されるため、渦磁場の抑制による画質改善のほか、従来のアナログタイプの渦補償器を設けた場合に比べて、種々の著しい利点を享受することができる。すなわち、渦補償器はデジタル処理回路で構成されているため、アナログ素子に比べて、回路素子の温度に拠る変化やばらつきが小さく、安定した動作をさせることができる。また、デジタル処理回路で構成しているため、傾斜磁場のチャンネル相互間で発生する渦磁場を補償する、いわゆるクロスターム補償を行う場合でも、アナログ回路を用いる場合に比べて、回路構成や回路規模の増大化及び複雑化を抑制することができる。

【0058】さらに、デジタル処理回路を用いることで、傾斜磁場制御波形を一定間隔でサンプリングしてデジタル化し、このデジタルデータに基づいて、指数関数的に減少する波形で表される渦補償成分を精度良く連続的に演算できるようにしたため、従来のアナログ回路にみられたような経時変化に因る補償精度の悪化とは無縁となり、長い時定数の渦成分であってもこれを高精度に補償することができる。これにより、渦補償に拠るMR画

像の画質向上の威力を倍化させることができる。

【0059】なお、上述した実施形態では特に振れていないが、シーケンサ5に図4にその概要を示す処理を実行させることにより、渦補償の自動化を達成することができる。

【0060】具体的には、シーケンサ5は、この磁気共鳴イメージング装置を据え付けたり、保守点検するときの渦調整時において、所定の調整用パルスシーケンスを起動させ（図4、ステップS1）、RFコイル7及び受信器8Rを介して得たMR信号を収集する（ステップS2）。次いで、シーケンサ5は、このMR信号から従来周知の手法を用いて渦磁場（強度及び時定数）を演算する（ステップS3）。次いで、この演算した渦磁場が予め定めてあるしきい値範囲に入るか否かを判断することで、渦磁場が許容値に収束したか否かを判断する（ステップS4）。この判断の結果、収束していないときには、別の時定数 τ 及びゲイン g を修正する（ステップS5）。再び、調整用シーケンスを起動させ、上述の処理を繰返させる。この繰返しを行う中で、渦磁場を許容値に自動的に収束させることができる。

【0061】この結果、据え付け時や保守点検時において、従来のように渦補償のための時定数やゲインを手動で調整する必要も無くなり、その労力を大幅に省力化することができる。

【0062】またなお、シーケンサ5は、パルスシーケンス情報を、渦補償器で必要とするクロック周期のデジタル信号として出力するように構成すれば、図2に示した各チャンネル毎のサンプリング回路及びA/D変換器を省くこともできる。

【0063】さらに、前述した実施形態にあつては、渦磁場として空間的に1次の渦磁場を補償する例について説明したが、この補償法を0次の渦磁場についても適用することができる。0次の渦磁場の場合は、かかるデジタル処理を同様に行ってその制御量を送受信器で扱うキャリア周波数の中心周波数 f_0 及び位相とすればよい。

【0064】なお、本発明は上述した実施形態の構成に限定されるものではなく、特許請求の範囲に要旨に基づき、さらに種々の形態に変形可能なことは勿論である。

【0065】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、渦磁場を補償するための渦補償成分をデジタル処理により生成するようにしたため、渦磁場補償を安定に且つ精度良く行うことができる。また、渦磁場の所謂、クロスターム補償を行う場合であっても、回路規模の増大及び複雑化を抑制することができる。さらに、渦測定と渦補償との手法を用いることで、据え付け時や保守点検時に、渦補償の時定数やゲインを自動的に調整することができ、その調整の手間を大幅に軽減させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態に係る磁気共鳴イメージング装置の構成の一例を示す概略ブロック図。

【図2】渦補償器を中心とした渦補償の概要を示す機能ブロック図。

【図3】各渦補償回路をより具体的に表す機能ブロック図。

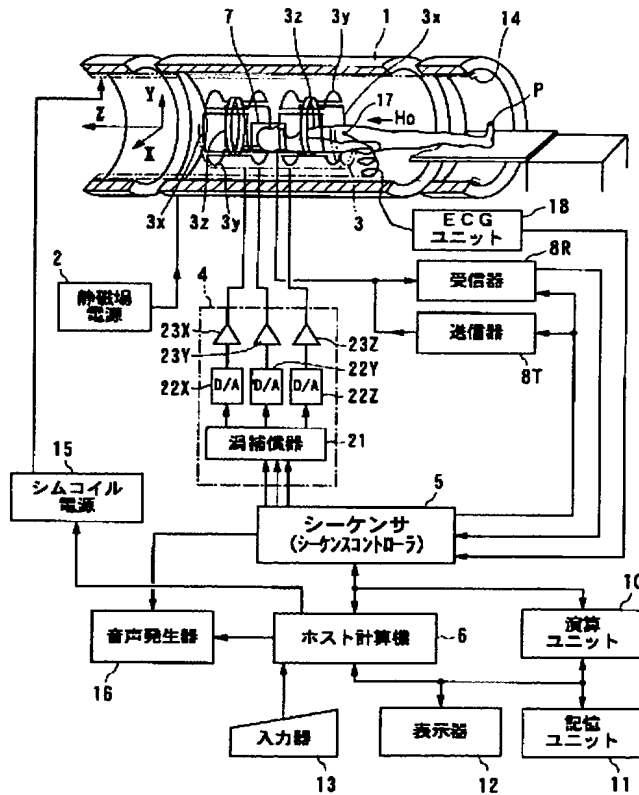
【図4】渦補償の自動化ルーチンを概略的に示すフローチャート。

【符号の説明】

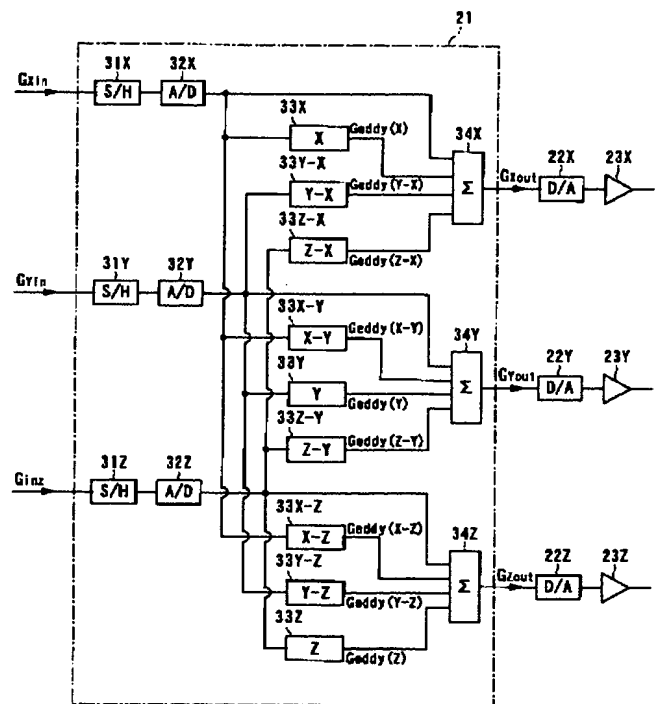
- 1 磁石
- 3 傾斜磁場コイルユニット
- 4 傾斜磁場電源
- 5 シーケンサ
- 6 ホスト計算機

- 7 RFコイル
- 8T 送信器
- 8R 受信器
- 10 演算ユニット
- 11 記憶ユニット
- 13 入力器
- 21 渦補償器
- 22X~22Z D/A変換器
- 31X~31Z サンプUNG回路
- 32X~32Z A/D変換器
- 33 渦補償回路
- 34X~34Z 加算器
- 331A~331E 積分器
- 332 加算器

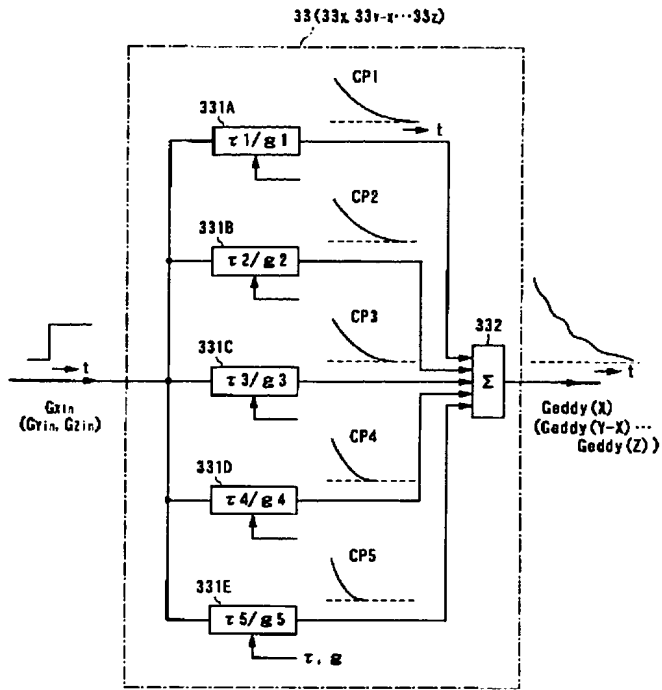
【図1】



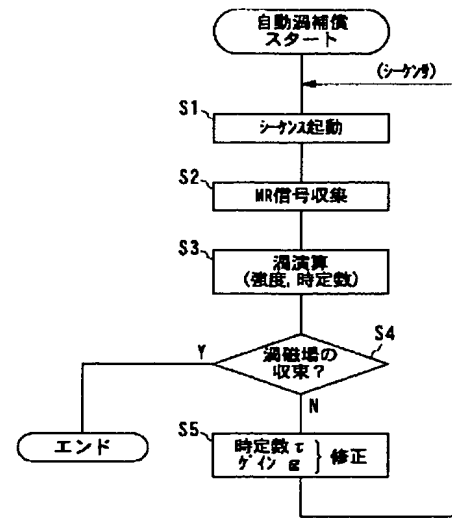
【図2】



【図3】



【図4】



THIS PAGE BLANK (ISPT0)